

УДК 519.713: 504.064

МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Касимов Александр Меджитович

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Центра (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), академик УОАН, академик ЕАЕН; Государственное предприятие "Украинский научно-технический центр металлургической промышленности "Энергосталь"; Украина, 61166, г. Харьков, просп. Ленина, 9, kassimov@energostal.org.ua

Козуля Татьяна Владимировна

доктор технических наук, профессор кафедры компьютерного мониторинга и логистики НТУ Национальный Технический Университет «ХПИ»; Украина, 61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 12, тел. +38-057-707-64-74; kozulia@kpi.kharkov.ua

Емельянова Дарья Игоревна

младший научный сотрудник Государственного предприятия "Украинский научно-технический центр металлургической промышленности "Энергосталь", аспирант, Национальный Технический Университет «ХПИ»; Украина, 61002, г. Харьков, вул. Фрунзе, 12

Козуля Мария Михайловна

магистр кафедры компьютерного мониторинга и логистики Национальный Технический Университет «ХПИ»; 61002, Украина, Харьков, ул. Фрунзе, 12

В настоящее время предложено и разработано множество различных комплексных показателей качества экологически безопасного функционирования окружающей природной среды (ОПС), особенно актуальны вопросы оценки экологичности ОПС в условиях реализации концепции устойчивого развития (УР), суть которой состоит в том, что социально-экономическое развитие должно обеспечиваться сохранением естественного состояния ОПС, отсутствием снижения качества и безопасности жизни людей. Индикатором экологического развития социальной системы принята качественно-количественная оценка уровня здоровья населения. Целью исследования является формирование методики комплексной оценки социально-эколого-экономического состояния техногенно нагруженных объектов. Приводится модель комплексной оценки состояния ПТК и результаты сравнительной оценки различных методов количественного анализа на соответствие экологичности системы. Рассматриваются формулы вычисления показателя и коэффициента экологичности технологического процесса и алгоритм обеспечения комплексного анализа ПТФ.

Ключевые слова: вероятностно-энтропийный подход, риск-анализ, комплексная оценка качества, MIPS-анализ, компараторная идентификация.

Статья поступила в редакцию 3.11. 2013

UDC 519.713: 504.064

METHODOLOGICAL AND INFORMATION PROVISION OF COMPLEX ASSESSMENT OF NATURAL-TECHNOGENIC OBJECTS

Kassimov Alexander Medzhitovich

doctor of technical sciences, professor, chief researcher at the Center, Academician Ukrainian Ecological Academy of Sciences, Academician of the European Academy of Natural Sciences, State Enterprise "Ukrainian Scientific-Technical Center metallurgical industry" Energostal", Ukraine, 61166, Kharkov, kassimov@energostal.org.ua

Kozulia Tat'yana Vladimirovna

doctor of technical sciences, professor of department of computer monitoring and logistics, National Technical University "KPI", Ukraine, 61002, Kharkiv, tel. +38-057-707-64-74; Kozulia@kpi.kharkov.ua

Emelyanov Daria Igorevna

junior research worker "Ukrainian Scientific-Technical Center metallurgical industry" Energostal "graduate student, National Technical University" KPI", Ukraine, 61002, Kharkiv

Kozulia Maria Mikhailovna

Master of the Department of Computer monitoring and logistics National Technical University "KPI", 61002, Ukraine, Kharkiv

Currently, many various of integrated indicators of quality environmentally safe functioning of the natural environment are proposed and developed. Especially actual questions evaluation of environment under implementation of the concept of sustainable development, essence of which is that the socio-economic development must ensure the preservation of the natural state of the environment, the lack of decline in the quality and safety of life people. The indicator of ecological development of the social system is qualitative and quantitative evaluation of level of health of the population. The purpose of research is the formation of methodology of integrated assessment of socio-ecological-economic condition of loaded objects. Integrated assessment model of condition natural-technical objects and results of a comparative evaluation of different methods of quantitative analysis on compliance with environmental systems are presented. Calculation formula of index and coefficient of ecological compatibility of technological process and algorithm of provide a comprehensive analysis at PTF are presented.

Keywords: probabilistic-entropic approach, risk-analysis, comprehensive quality assessment, MIPS analysis, identification of the comparator.

Received 3.11.2013

Введение. В настоящее время предложено и разработано множество различных комплексных показателей качества экологически безопасного функционирования окружающей природной среды (ОПС), однако актуальность таких работ не теряет весомости. Особенно актуальными стали вопросы оценки экологичности ОПС в условиях реализации концепции устойчивого развития (УР), суть которой состоит в объединении и согласовании показателей экологичности, экономического, экологического и социального аспектов.

Согласно положениям концепции УР и развивающегося экологического менеджмента (ЭМ) социально-экономическое развитие обеспечивается сохранением естественного состояния ОПС, отсутствием снижения качества и безопасности жизни людей, т. е. высоким уровнем экологичности техногенной сферы и соответствующим минимумом экологического риска (техногенно-экологическая концепция экологической безопасности) (Згуравский, Гвишиани, 2008; Петров, 2009).

В пределах концепции УР одним из направлений научного развития определено исследование влияния опасных факторов на социально-эколого-экономическую систему и условий перехода деструктивного развития ОПС в экологически устойчивое состояние. Для решения этой научно-практической задачи целесообразно обратиться к современным разработкам в области интеллектуальных моделей, позволяющих объединить функции обобщенной полезности с оценкой альтернатив решения задач структурной и параметрической идентификации.

Целесообразным и необходимым является формирование комплексной модели исследования "состояние-1 систем ОПС - процесс - состояние-2 ОПС". Системное согласование и сбалансирование составляющих модели связано с предоставлением комплексной оценки соответствия развития отдельной системы требованиям экологического качества и безопасности. Взаимосвязь природоохранной и экономической составляющих определяется обычно в виде стоимостной оценки техногенных влияний на ОПС. Индикатором экологического развития социальной системы принята качественно-количественная оценка уровня здоровья населения (Згуравский, Гвишиани, 2008). Именно вопросам разработки методологических основ для определения оценочных показателей состояния системных природно-техногенных комплексов с использованием теории энтропии и компаратор-

ной идентификации, методов ЭМ посвящена данная исследовательская работа.

Целью исследования является формирование методики комплексной оценки социально-эколого-экономического состояния техногенно-нагруженных объектов, определение механизмов естественного регулирования гомеостатических связей между составляющими системного образования «объект – окружающая среда».

Для решения данной задачи в работе рассмотрены такие вопросы:

- разработка теоретических основ формирования комплексной оценки экологичности состояния природно-техногенных комплексов;
- определение методического обеспечения комплексирования показателей экологичности производства на основе MIPS-анализа, MI-индикаторов и оценки экологического риска природно-техногенных комплексов (ПТК).

Методика исследования и анализ результатов. Разработка методологии комплексной оценки экологичности связана с усовершенствованием информационно-методических основ мониторинга ОПС на уровне территориально-объектного исследования ПТК с учетом эколого-социально-экономической структуры модели для оценки экологичности как отражение зависимости между экологическим состоянием эколого-экономической составляющей и уровнем здоровья населения в социально-экологическом аспекте (рис. 1).

Для анализа и количественной оценки состояния систем разработаны различные методы, в практике наиболее применимы следующие (Сердюккая и др., 2005):

- статистический метод, в т. ч. метод статистических испытаний, или метод Монте-Карло;
- аналитический метод;
- метод использования дерева решений и вероятностного подхода;
- метод экспертных оценок;
- нормативный метод;
- метод анализа чувствительности или метод критических значений;
- метод использования аналогов.

Каждый из названных методов имеет свои преимущества и недостатки и используется часто в конкретных ситуациях, универсального метода, приемлемого для всех случаев, не существует.

Ниже приведены результаты сравнительной оценки указанных методов количественного анализа на соответствие экологичности системы (табл. 1).

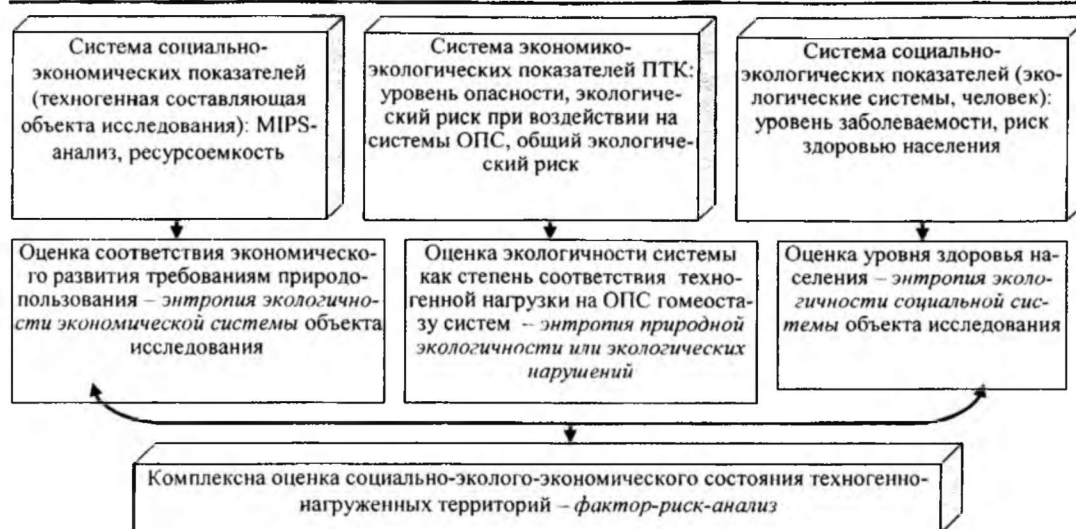


Рисунок 1 – Модель комплексной оценки состояния ПТК

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов количественного риск-анализа (по материалам (Сердюк и др., 2005))

Характеристика	Методы количественного анализа риска						
	Статистический	Аналитический	Деревя решений	Экспертных оценок	Нормативный	Анализ чувствительности	Аналогий
Условия применения	Известны данные о прошлых периодах хозяйствования	Наличие детальных сведений о проекте или видах деятельности	Известны факторы риска и последствия их влияния	Дефицит информации	Известны основные финансовые показатели деятельности	Наличие детальных сведений о проекте или виде деятельности	Наличие аналогов и постоянство условий деятельности
Оценка	Абсолютная	Относительная	Абсолютная	Относительная	Относительная	Относительная	Абсолютная
Точность оценки	Невысокая	Средняя	Высокая	Невысокая	Невысокая	Средняя	Невысокая
Учет влияния отдельных факторов риска	Незначительный	Нельзя учесть	Высокий	Практически нельзя учесть	Нельзя учесть	Практически нельзя учесть	Незначительный

Анализ сложных системных объектов при условии разного уровня детализации информации об их отдельных составляющих требует разработки комплексной системы методического обеспечения и установления универсальных функций состояния для объектов исследования. Комплексная экологическая оценка предусматривает учет трех составляющих аспектов УР: экономического, экологического и социального, с целью установления внешних и внутренних факторов, вызывающих экологически деструктивные явления (процессы) в отдельной системе, и на системном уровне для определения связи в объекте исследования и с ОПС.

Экологичность экономической составляющей объекта определяется на уровне комплексной оценки деятельности при производстве или предоставлении услуг в виде MIPS-

показателей на основе Мi-чисел. Для определения содержательности Мi-индексов как оценки «экологической стоимости» готового продукта и несоответствия состояния ПТК природному качеству ОПС используют индикаторы природопользования (Сергиенко, 2004; Риттхофф и др., 2004):

1. Показатель экологичности процесса (L) – величина вредных влияний на ОПС в расчете на единицу полезной продукции или услуги, предоставленной в результате данного процесса:

$$L = P_r / Q, \quad (1)$$

где $L = P_r / Q$, (1)

пользуемых для производства единицы продукции, Q – стоимость готовой продукции.

Для ресурсов предусмотрена оценка их экологической ценности с учетом объемов

изъятия, стойкости и следствий нарушения естественного состояния экосистем от техногенной нагрузки на территории в виде энтропийного момента ΔS .

$$M MI_S = \Delta S / Q \text{ или } MI_S = \Delta S / \Delta Q. \quad (2)$$

2. Коэффициент экологичности объекта (ε_n) определяется как отношение «условий сохранения природного состояния среды» при выпуске продукции (чистый полезный эффект $(Q - P_B)$) к количеству извлеченных природных ресурсов (ПР) (R_n) с учетом обеспечения ресурсами (1, 2):

$$\varepsilon_n = \frac{Q - P_B}{R_n} = \frac{1 - L}{R_n} = \frac{1 - MI_S}{R_n}. \quad (3)$$

Т. о., экологическая ценность полученной продукции с учетом убытка от влияния на ОПС превышает ценность изготовленной продукции, если коэффициент $\varepsilon_n > 1$. Объекты, для которых выполняется условие $\varepsilon_n < 1$, относят к экологически неэффективным, поскольку чистая отдача от используемых природных ресурсов не превышает их ценности.

Основной целью экологической составляющей комплексной оценки экологичности является максимизация биологической продуктивности экосистем и минимизация нарушений гомеостаза (Козуля, и др., 2012). Социальная составляющая комплексной оценки определена расчетной величиной уровня здоровья человека как вероятностной характеристикой риска здоровью населения (Щербань и др., 2009).

При определении комплексной экологической оценки на уровне исследования территориальных объектов составляющими анализа являются состояния природных систем, находящихся под воздействием техногенных факторов, с целью выявления причин деструктивных изменений в ОПС и определения регулирующих действий для стабилизации экологичности по всем аспектам исследования УР (рис.2).

Информационное обеспечение системы комплексной оценки соответствия требованиям качества ОПС представлено системой ЭМ, определяющей картину загрязнения природных объектов, например, в виде поступления в почву, как депонирующую среду, миграционных потоков, состояние которых с точки зрения их вредности для системы устанавливаются на основе энтропийной оценки состояния и компараторной идентификации (Бондаренко и др., 2008).

Соответствие требованиям экологичности для исследуемого объекта рассматривается

через некоторое образованное пространство состояний U^m , в котором выделены пары состояний, характеризующие системные отношения в объекте. В работе изучено геохимическое пространство техногенно-нагруженной территории. При анализе факторов влияния на природную составляющую ПТК выделяют подмножества A_1, A_2, \dots, A_m , где m – размерность физико-химического (геохимического) пространства, для которого (x_1, x_2, \dots, x_m) – составляющие факторов влияния. В таком случае существует множество S – декартово произведение множеств A_1, A_2, \dots, A_m как геохимическое подпространство U^m – фактор, в котором определенным образом проявляет себя S . Так, при изучении поведения ТМ имеем отношения их катионных и анионных форм, которые создают предметное пространство:

$$U = \left\{ \underbrace{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu, Mo, Cr, V}}_{A_1} \right\} \cdot \left\{ \dots \right\} \quad (4)$$

Согласно задаче оценки трансформационных изменений, происходящих с факторами влияния, выделено подпространство $S = A_1 \times A_2$ как множество всех пар вида (x_1, x_2) , удовлетворяющее условию $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2$ декартового произведения $A_1 \times A_2 = 6 \cdot 3 = 18$, представленное $2^{18} = 262144$ отношениями.

С целью определения направления в преобразовании воздействующего на ОПС химического фактора в виде ТМ используют функцию энтропии для выбора подмножества более существенных отношений, реализованных в силу сильных изменений в системе или достижения максимума энтропии в точках стабилизации гомеостаза за счет трансформационных изменений.

При образовании соединений с уменьшением вредного влияния отдельных ТМ устанавливают нужное множество, например $\{Zn, Pb\}$. Для отображения трансформации в потоке для анализируемого пространства U^m (4) строят двудольный граф вида $P = \{(Zn, Mo)(Zn, Cr)(Zn, V) \dots\}$

Объективно факт трансформации в направлении уменьшения миграционных способностей, а таким образом, влияния на системы, характеризуется определенной парой состояний, например ZnV_2O_4 , что возможно как результат самопроизвольного процесса при определенном значении энтропии в виде меры отклонений от стабильности, активности.

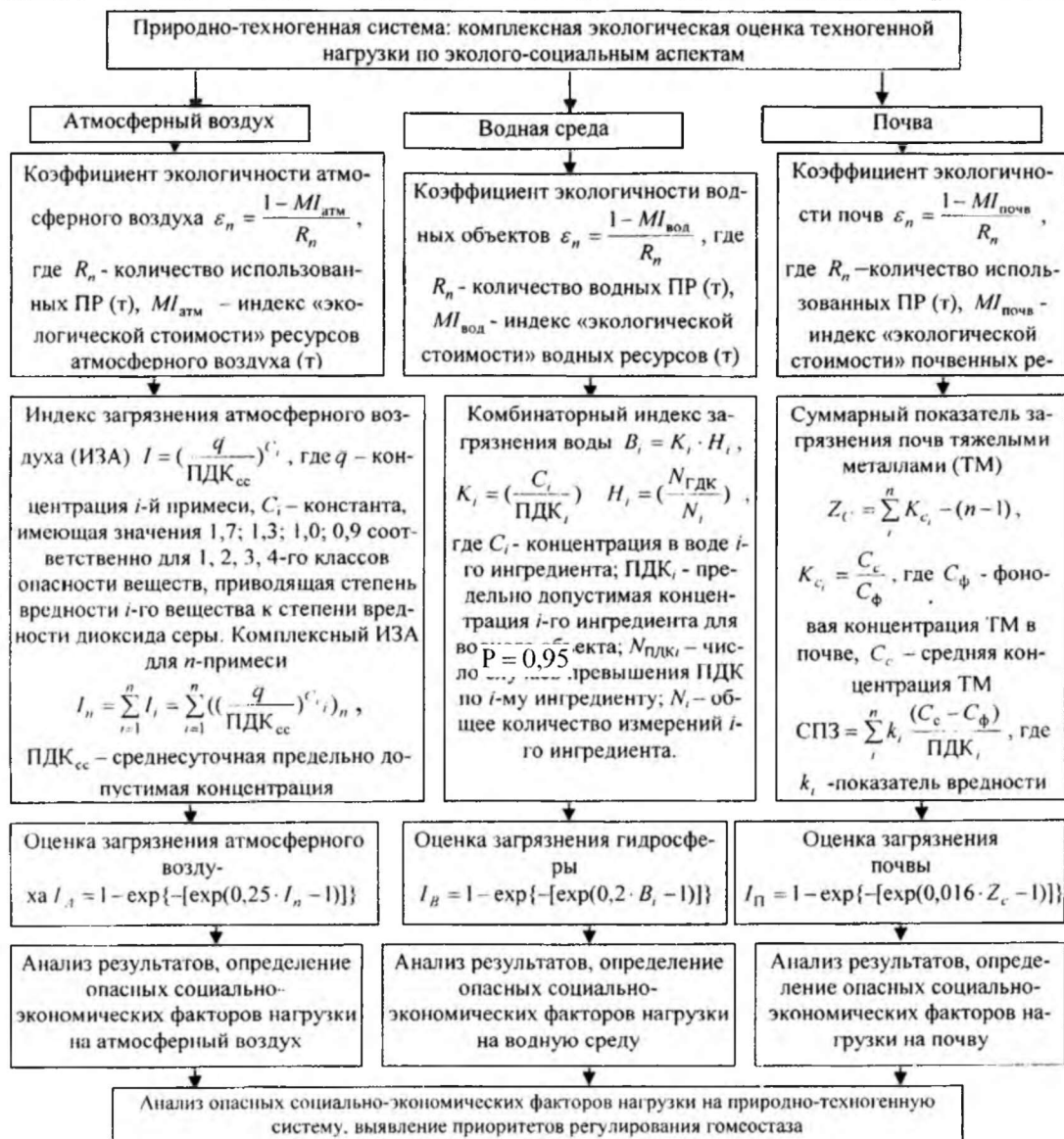


Рисунок 2 – Схема алгоритмического обеспечения комплексного анализа природно-техногенных объектов

Для идентификации элементов стабилизации в факт $\alpha = 0,05$ в нагруженной системе приняты условия: при уровне значимости процесса $\alpha = 0,05$ вероятность стабилизации $P = 0,95$, энтропийное напряжение $-2,99$; с учетом приемлемого риска отклонения от стабильного состояния составят $P = 0-0,2$, а энтропия преобразований будет ограничена значениями $S = -2,3$ ($P = 0,1$) – $S = -1,89$ ($P = 0,15$). Вероятность преобразований составит $P = 0,85$ ($S = -0,16$), т. е. для элементов миграционного потока воздействия на почвы имеем:

$$P(x_i - x_n) = \begin{cases} 1, & \text{для } x \leq 0,2 \\ 0, & \text{для } x \geq 0,2 \end{cases} \quad (5)$$

Согласно предоставленной схеме идентификационных изменений в потоке химических веществ (4, 5) разработано программное обеспечение оценки влияния ТМ на почвы и на отдельные сопредельные объекты ОПС (рис. 3).



Рисунок 3 – Идентификация трансформационных изменений в почве

Выводы. Исследование задачи комплексной оценки качества ОПС согласно концепции устойчивого развития с целью формирования системного методологического подхода по определению уровня экологической опасности и повышения экологической эффективности регулирования гомеостаза на природно-техногенных территориях позволило:

- разработать методические подходы к определению комплексной оценки экологичности эколого-экономической составляющей системных объектов (рис. 1, 2);

- сформировать модель оценки экологичности экономической деятельности на основе MIPS-анализа и MI-индикаторов на уровне исследования природно-техногенных комплексов (уравнения 1–3) с выходом на систему идентификации экологических рисков (рис. 2) и компараторной идентификации экологического состояния системного объекта исследования (выражения 4, 5; рис. 3).

Научная новизна полученных результатов. Впервые в поиске комплексной универсальной функции состояния экологичности предложено:

- 1) оценку уровня нарушений в ОПС для техногенно-нагруженных территорий рассматривать посредством системного представления объекта исследования с целью анализа экологического, экономического и социального аспекта согласно концепции УР;

- 2) количественную меру экологичности устанавливать на трех уровнях исследования с применением различных методов эколого-экономического анализа: на макроуровне; «система – система», «система – ОПС» – MIPS-анализ; микроуровень; «система – процесс» – статистические методы и риск-анализ; локальный; «система», «процесс» – энтропийный анализ состояния, нарушений, стабилизации;

- 3) универсальной мерой качества и соответствия экологичности считать энтропийную функцию, с целью выявления факторов регулирования в условиях разносторонней информации и различных систем применять компараторную идентификацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Згуровский М. З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / М. З. Згуровский, А. Д. Гвишиани. – К.: Политехника, 2008. – 331 с.
2. Петров К. Э. Компараторная идентификация модели формирования индекса устойчивого развития / К. Э. Петров // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2009. – №1. – С. 36–46.

3. Интегральные оценки экологического риска в системе принятия решений / (Сердюк Л. Ф., Каменева И. П., Зухин Ю. В., Яцишин А. В.) // Моделирование та інформаційні технології. – 2005. – Вип. 34. – С. 26–34.

4. Сергиенко О. Основы теории эко-эффективности: монография / О. Сергиенко, Х. Рон. – СПб.: СПбГУНИПТ, 2004. – 223 с.

5. Риттхофф М. Вычисления MIPS: ресурсная продуктивность продукции и услуг / М. Риттхофф, Х. Рон, Т. Мертен // Основы теории эко-эффективности / Под науч. ред. О. Сергиенко, Х. Рона. – СПб, 2004. – 246 с.

6. Козуля Т. В. Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем / Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова, Д. І. Ємельянова, М. М. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. – 2012. № 01(011). – С. 37–45.

7. Щербань М. Г. Формування екологічних підходів до визначення оцінки ризику здоров'я на корпоративній основі [Текст] / М. Г. Щербань, Т. В. Козуля, О. А. Шевченко // Експериментальна і клінічна медицина. – ХМУ, 2009. – № 2. – С. 153–156.

8. Бондаренко М. Ф. Про загальну теорію компараторної ідентифікації / М. Ф. Бондаренко, С. Ю. Шабанов-Кушнаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журн. – 2008. – № 2 (69). – С. 13–22.

LITERATURA

1. Zgurovskij M. Z. Global'noe modelirovaniye processov ustojchivogo razvitiya v kontekste kachestva i bezopasnosti zhizni ljudej / M. Z. Zgurovskij, A. D. Gvishiani. – K.: Politehnika, 2008. – 331 c.

2. Petrov K. E. Komparatornaja identifikacija modeli formirovaniya indeksa ustojchivogo razvitiya / K. E. Petrov // Sistemni doslidzhennja ta informacijni tehnologii. – 2009. – №1. – S. 36–46.

3. Integral'nye ocenki jekologicheskogo ris-ka v sisteme prinjatija reshenij / (Serdjuckaja L. F., Kameneva I. P., Zuhin Ju. V., Jacishin A. V.) // Modeljovannja ta informacijni tehnologii. – 2005. – Vip. 34. – S. 26–34.

4. Sergienko O. Osnovy teorii jeko-jeffektivnosti: monografija / O. Sergienko, H. Ron. – SPb.: SPbGUNIPT, 2004. – 223 s.

5. Ritthoff M. Vychislenija MIPS: resursnaja produktivnost' produkcii i uslug / M. Ritthoff, H. Ron, T. Merten // Osnovy teorii jeko-jeffektivnosti / Pod nauch. red. O. Sergienko, H. Rona. – SPb, 2004. – 246 s.

6. Kozulja T. V. Teoretiko-praktichni osnovi metodologii kompleksnoj ocinki ekologichnosti teritorialnih i ob'ektiv sistem / T. V. Kozulja, N. V. Sharonova, D. I. Emeljanova, M. M. Kozulja // Problemi informacijnih tehnologij. – 2012. № 01(011). – S. 37–45.

7. Shherban' M. G. Formuvannja ekologigigienichnih pidhodiv do viznachennja ocinki riziku zdorov'ju na korporativnij osnovi [Tekst] / M. G. Shherban', T. V. Kozulja, O. A. Shevchenko // Eksperimental'na i klinichna medicina. – HMU, 2009. – № 2. – S. 153–156.

8. Bondarenko M. F. Pro zagal'nu teoriju komparatornoj identifikacij / M. F. Bondarenko, S. Ju. Shabanov-Kushnarenko, Ju. P. Shabanov-Kushnarenko // Bionika intelektu: nauk.-tehn. zhurnal. – 2008. № 2 (69). – S. 13–22.